

**ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN  
DE UNA EDIFICACIÓN DE DOS PISOS**  
*ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA*

**INFORME No. E-409-2011**

*Localización:*

**CARTAGENA – COLOMBIA**  
**BARRIO EL BOSQUE SECTOR MANZANILLO**  
**SEPTIEMBRE DE 2011**

Realizado por el ingeniero civil  
**Manuel Calvo Muñoz**  
Matrícula Profesional No.08202089220ATL



Barranquilla, Septiembre 06 de 2011

Señores:

**Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla**

Cartagena.

**Ref. : Estudio de suelos para la construcción de dos edificios de dos pisos.**

Cordial saludo,

Adjunto al presente les estamos enviando los resultados, conclusiones y recomendaciones correspondientes al estudio de suelos en referencia.

Reiteramos a ustedes nuestra disposición para atender cualquier inquietud con respecto a este trabajo y confiamos poder colaborarles en el futuro.

Atentamente,



**Fabio Antonio Calvo**  
Sub Gerente.



CONTENIDO

1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO .....	4
1.2. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	5
2. INVESTIGACIÓN DEL SUB - SUELO .....	6
2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO .....	6
2.1.1. Accidentes Geomorfológicos .....	6
2.1.2. Características de las edificaciones adyacentes .....	7
2.2. CONDICIONES DEL ENTORNO .....	7
2.2.1. Geología .....	10
2.2.2. Sismicidad .....	7
2.2.3. Clima .....	9
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO .....	9
2.4. EXPLORACIÓN DE CAMPO .....	10
2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO .....	11
3. GEOTECNIA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	13
3.1. ESTRATIGRAFÍA .....	13
3.2. NIVEL FREÁTICO .....	14
3.3. INTERPRETACIÓN GEOTÉCNICA .....	14
3.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	15
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	19
4.1. ADECUACION DEL TERRENO .....	24
4.2. TIPO DE CIMENTACIÓN .....	19
4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CIMENTACIÓN .....	25
4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PILOTES PRE EXCAVADOS .....	27
4.5. ASENTAMIENTOS DEL SISTEMA DE PILOTES .....	28
4.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y DE CONTROL .....	28
4.6.1. Inspección y control de calidad .....	30
4.6.2. Tolerancias .....	30
4.7. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS GENERALES .....	31
4.7.1. Excavaciones genrales .....	31
4.7.2. Rellenos .....	32
4.7.3. Manejo de aguas .....	32
4.7.4. Otras consideraciones .....	33
4.8. ASPECTOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO .....	28
5. LIMITACIONES .....	33



## **1. GENERALIDADES**

En el presente informe se muestran los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir del análisis geotécnico realizado en un lote ubicado en la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, ciudad de Cartagena (Bolívar), donde se proyecta la construcción de dos edificios de dos pisos.

En el documento inicialmente se relaciona toda la información previa obtenida, se hace referencia a las características del sitio y del entorno en general, a las características del proyecto a ejecutar y a la investigación de campo realizada con los respectivos ensayos de laboratorio.

Luego se desarrolla el análisis de los datos obtenidos, tanto en campo como en laboratorio; se determinan las características del sub-suelo, su estratigrafía y se realiza una interpretación geotécnica.

Finalmente, se define el tipo de cimentación más adecuada para la obra en referencia, se trata lo concerniente al proceso constructivo de la misma; se presentan las conclusiones y recomendaciones que garanticen el adecuado comportamiento del sistema y la estabilidad de la estructura proyectada.

## **OBJETIVO DEL ESTUDIO**

El objetivo principal de esta investigación es determinar las características del terreno, para luego definir el tipo de cimentación apropiada y emitir recomendaciones que garanticen la estabilidad del proyecto.



## ***ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN***

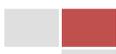
Dentro de los alcances del estudio se incluyen las siguientes actividades:

- Obtener información sobre las condiciones estratigráficas del sitio.
- Determinar las propiedades mecánicas de los suelos (resistencia, compresibilidad, etc.).
- Establecer la profundidad de las aguas freáticas.
- Utilizar la información anterior para determinar el tipo de cimentación apropiada y las características de la misma (profundidad, capacidad portante, etc.).
- Determinar el comportamiento del sistema suelo-estructura (asentamientos, problemas potenciales) y los métodos constructivos más adecuados.

## ***LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO***

La obra se desarrollará en dos lotes que hacen parte de la propiedad Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla Cartagena, Departamento de Bolívar, cerca al mar.

En los anexos se muestra un esquema de localización del proyecto y las perforaciones.



## **2. INVESTIGACIÓN DEL SUB - SUELO**

Para ejecutar la investigación, se recopiló y evaluó toda la información geotécnica pertinente, igualmente la información sobre las condiciones del sitio y las características del proyecto. Con este propósito, se realizó una inspección de campo y revisaron estudios de suelos ejecutados en la zona de interés.

### **2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO**

#### **2.1.1. Accidentes Geomorfológicos**

El lote destinado para la ejecución del proyecto se encuentra aproximadamente de 10 a 20 metros de la orilla del mar (a la fecha de exploración) y presenta una forma geométrica trapezoidal con un área aproximada de 9500 m<sup>2</sup>. Lote 1 (BLOQUE GUARDACOSTA) y el lote 2 (BLOQUE ALOJAMIENTOS) de 5.500m<sup>2</sup> aproximadamente

La superficie de ambos terrenos es relativamente plana, sin accidentes dignos de mención y muestra una pendiente ligera hacia la calle adyacente.

Las condiciones de drenaje en el sitio se consideran aceptables en términos generales y la vegetación es típica de sectores de playa (palmeras, cocos y especies menores).

A la fecha de la exploración existían en el sitio unas cabañas o dormitorios que posiblemente serán demolidas para dar paso al nuevo proyecto. También se encontraron dos fosos sépticos (BLOQUE ALOJAMIENTOS)

Por otra parte, durante la exploración de campo no se detectaron cavernas, corrimientos u otros accidentes similares que representen riesgos para el proyecto.



### **2.1.2. Características de las edificaciones adyacentes**

En las zonas aledañas al terreno de interés se observan construcciones desde un piso hasta 4 plantas, de uso principalmente habitacional y recreacional, que hacen parte de la escuela de cadetes.

Las estructuras observadas no presentaban, a la fecha de la exploración de campo, signos que evidencien un mal comportamiento atribuible a la interacción suelo-estructuras (fisuras, grietas, etc.)

## **2.2. CONDICIONES DEL ENTORNO**

### **2.2.1. Geología**

El departamento de Bolívar se encuentra ubicado dentro de la región fisiográfica del Caribe, cuyos paisajes se encuentran desarrollados sobre materiales de areniscas cuarzosas, calcáreas, arcillolitas y otras rocas sedimentarias marinas del terciario, como también depósitos cuaternarios.

### **2.2.2. Sismicidad**

La ciudad de Cartagena y cercanías se encuentran en zona de riesgo sísmico intermedia de acuerdo con las Normas Sismo - Resistentes Colombianas, las cuales se denominan NSR- 10 Por lo anterior los diseños sísmicos que se proyecten, se deben realizar utilizando un coeficiente de aceleración pico efectiva  $A_a = 0.15$ .



En el caso del terreno estudiado, considerando las características del suelo encontrado, los efectos locales de respuesta sísmica deben evaluarse empleando un perfil del suelo  $S_3$ , con un coeficiente de sitio  $S = 1.5$ .

Empleando un procedimiento alternativo permisible (desarrollado en el capítulo H Apéndice H-1) basado en la velocidad de onda cortante, el número de golpes de ensayo SPT y la resistencia media al corte; se considera un perfil de suelo tipo E.

Las características del proyecto hacen que clasifique como una estructura de ocupación normal (grupo II) asignándosele un coeficiente de importancia de 1.0 según el aparte A.2.5. de la norma NSR-10

PARA TENER EN CUENTA: Temblor como el de 1975 podría repetirse en la ciudad. La llamada 'placa litosférica del Caribe', que tiene influencia en Cartagena, puede generar sismos, como el de 1975. El sismo de magnitud 5,5 (mb) del 5 de abril de 1975, tuvo su epicentro en cercanías a la Isla Barú, y causó algunos daños en las edificaciones más vulnerables de Cartagena, estimándose por tanto para esta ciudad una intensidad VII en la escala de Mercalli modificada. Si bien este sismo fue registrado por numerosas estaciones instaladas en diversas partes del mundo, no tenemos mucha información más allá de precisar su localización, magnitud y profundidad.

La Costa Caribe colombiana, especialmente su parte occidental, es una zona que está siendo sometida a diversas fuerzas, al presionarse sobre la placa litosférica del Caribe, que tiene la capacidad de generar sismos en ese proceso, por tanto, sismos como ese podrán seguirse registrando. OTRAS FALLAS Precisamente el 5 de abril de este año, un sismo de 3,5 en la escala de Richter sacudió al municipio de Pinillos (Centro de Bolívar) y fue producto de la falla del Nido Sísmico de Bucaramanga. La influencia de esta falla no se descarta sobre Cartagena.



¿CUÁNTAS VECES HA TEMBLADO Y EN CARTAGENA?  
Con excepción del sismo de 1975, y de algunas menciones de sismos del siglo XIX y comienzos del XX que pudieron afectar la ciudad, no se sabe de eventos destacados cerca a Cartagena. Sin embargo, la ciudad también sufrió daños leves por sismos localizados en otras zonas de la Costa, por ejemplo con los sismos de Santa Marta (1834) y Lorica (1942), y que se han sentido con alguna intensidad sismos de profundidades intermedias, producidos en las áreas del eje cafetero y el nido sísmico de Bucaramanga, según los informes de Ingeo minas.

### **2.2.3. Clima**

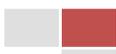
El sector presenta un clima cálido isotérmico, típico de regiones costeras, con temperaturas medias que oscilan entre 28 y 32 grados centígrados.

En la zona se presentan dos estaciones claramente distinguibles: una sequía absoluta comprendida entre los meses de Noviembre y Abril, y una época de lluvia o invierno que comienza en Abril y permanece hasta finales de Octubre.

### **2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO**

De acuerdo con la información suministrada por los solicitantes, el proyecto consiste en la construcción de dos edificaciones de dos plantas c/u y no se contempla la utilización de sótanos.

Estructuralmente se proyecta para la edificación un sistema de columnas y vigas con muros en mampostería. La información sobre luces entre columnas, cargas a transmitir al terreno u otras especificaciones no fueron proporcionadas.



Bajo el criterio establecido en el capítulo H-3, aparte H.3.1. de la NSR-10, la categoría de la edificación es especial con una variabilidad del sub-suelo baja, definiéndose el grado de complejidad del proyecto como Tipo III.

#### **2.4. EXPLORACIÓN DE CAMPO**

La Investigación de campo realizada consistió en visitas al sitio y la ejecución de 6 perforaciones con equipo mecánico de percusión, llevadas a profundidades de 0.00 metros a 7.00 metros (ver esquema de ubicación de las perforaciones).

La metodología utilizada para la realización de la investigación es la normalizada como ASTM D 1586, conocida como Ensayo de Penetración Estándar (Standard Penetration Test, S.P.T.).

Las perforaciones se realizaron por el sistema de percusión y lavado, utilizando para el efecto un equipo adicionado con una pesa de 620 N y con caída libre de 0.76 m. La densidad "in situ" de los suelos se determinó mediante ensayos normales de penetración con intervalos no mayores de un metro. El ensayo consiste en contar el número de golpes necesarios para hacer penetrar un elemento normalizado (penetrómetro) una distancia de 0.3 m. en el suelo de fundación.

Los resultados obtenidos con la prueba SPT sirven para correlacionar características de los suelos, tales como: peso unitario, densidad relativa, consistencia, ángulo de fricción interna y resistencia a la compresión inconfiada entre otros; sin embargo, estas correlaciones deben estar acompañadas de un criterio adecuado basado en la experiencia del Ingeniero Geotécnico.



## 2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO

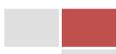
Al ejecutar las perforaciones se tomaron muestras de naturaleza alterada, consideradas representativas del perfil natural del terreno.

Las muestras recuperadas se clasificaron en forma visual y se seleccionaron algunas para ser sometidas en el laboratorio a los ensayos principales de acuerdo a las necesidades del estudio y a las características de los suelos. Entre otros, se ejecutaron ensayos de humedad natural, límites de consistencia y granulometría. A continuación se presenta un resumen de las características de los suelos encontrados.

### **ARENA LIMOSA Y/O POBREMENTE GRADADA DE COLOR GRIS, CON RAICES SUPERFICIALES EN ALGUNOS PUNTOS (SAORRA)**

Contenido de humedad	49.34%
Límite Líquido	NL
Índice de Plasticidad	NP
Pasa tamiz 200	0.3% - 21%
Clasificación USC	SM
Peso unitario húmedo	17.8kN/m <sup>3</sup> – 18.2kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	2.67 – 2.68
Angulo de Fricción Interna *	23 <sup>^</sup> - 26 <sup>^</sup>
Relación de Poisson *	0.29 – 0.36
Módulo de Elasticidad *	9.7 MPa – 21.9MPa

\* Por correlaciones con el Ensayo de Penetración Estándar.



**GRANULAR Y/O DE COLOR GRIS CLARO**

Contenido de humedad	25.28%
Límite Líquido	NL
Índice de Plasticidad	NP
Pasa tamiz 200	95.9% - 99%
Clasificación USC	SM
Peso unitario húmedo	18.3kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	2.69
Resistencia a la compresión in confinada *	20kpa – 130kpa
Relación de Poisson *	0.35 – 0.37
Módulo de Elasticidad *	2.9 MPa – 10MPa

\* Por correlaciones con el Ensayo de Penetración Estándar.

**MATERIAL ARCILLOSO TIPO SAORRO PLASTICO**

Contenido de humedad	18.9% - 24.1%
Límite Líquido	34.7% - 39.4%
Índice de Plasticidad	18.2% - 19.8%
Pasa tamiz 200	22.2% - 36.2%
Clasificación USC	SC
Peso unitario húmedo	18.1 kN/m <sup>3</sup> - 18.2 kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	2.68
Angulo de Fricción Interna *	30° - 39°
Relación de Poisson *	0.27 - 0.33



Módulo de Elasticidad \* 10 MPa - 30 MPa

\* Por correlaciones con el Ensayo de Penetración Estándar.

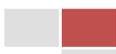
### **3. GEOTECNIA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **3.1. ESTRATIGRAFÍA LOTE 1 (GUARDA COSTA)**

- Basados en los registros de perforación y el análisis de los materiales, se pudo determinar que entre la superficie y la máxima profundidad explorada, el subsuelo presenta los siguientes estratos: Material granular tipo saorra color blanco y de color gris, la cual constituye el estrato predominante, encontrándose desde la superficie hasta profundidades entre 1 metros y 3 metros.
- Material granular color gris de alta compresibilidad, hallada bajo la arena y manteniéndose hasta profundidades entre 3.00 metros hasta 4.00 metros.
- Una formación de roca coralina en matriz de arena arcillosa, detectada bajo las arcillas y permaneciendo hasta el final de las prospecciones. -7.00mts

#### **3.2. ESTRATIGRAFÍA LOTE 2**

- Basados en los registros de perforación y el análisis de los materiales, se pudo determinar que entre la superficie y la máxima profundidad explorada, el subsuelo presenta los siguientes estratos: Arena arcillosa color marrón con vetas de color gris hasta profundidad de 0 a 1mts promedio
- Material granular color gris de alta compresibilidad. 1mt – 2mt



- Material Granular 2mts – 4mt
- Material Orgánico de 4mt a 5mt (se presume que es por cercanía a la posa séptica)
- Material Arcilloso tipo saorro 5mts – 6.00
- Material Granular color Beige 6.00 – 7.00

### **3.3. NIVEL FREÁTICO**

Durante el período de la exploración de campo el Nivel de Aguas Freáticas (N.A.F.) se detectó a profundidades entre 0.3 metros y 0.5 metros. (en ambos lotes)

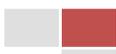
Es importante mencionar que la condición del N.A.F. puede variar dependiendo de la época del año y de la intensidad de las lluvias.

### **3.4. INTERPRETACIÓN GEOTÉCNICA**

En este ítem se analizan las propiedades físicas mecánicas de los suelos del lugar para establecer el tipo de cimentación apropiada y las consideraciones a tener en cuenta para un buen comportamiento de las estructuras.

En este ítem se analizan las propiedades físicas mecánicas de los suelos del lugar para establecer el tipo de cimentación apropiada y las consideraciones a tener en cuenta para un buen comportamiento de las estructuras.

El primer estrato encontrado en el lote está constituido por suelos carentes de plasticidad y con un porcentaje de partículas finas entre 0.3% y 21%.



Estos depósitos clasifican como arenas pobremente gradadas (SP), arenas limosas (SM) o granular (SM-SP) en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.).

El estrato muestra una densidad variable desde suelta hasta densa, con resistencias al corte estimadas con base en los resultados del ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.), entre 50 kPa y 350 kPa.

Los depósitos son permeables y no propensos a sufrir cambios de volumen por variaciones en su humedad interna.

### **3.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Con base en el análisis de los resultados obtenidos en la investigación geotécnica del terreno en el sitio de interés, se pueden emitir las siguientes observaciones:

- El subsuelo del lugar está conformado por materiales de grano gruesos con propiedades friccionantes y en menor escala por suelos finos de tipo cohesivo.
- En términos generales, para el proyecto a desarrollar, las características físico-mecánicas de los materiales se consideran desde deficientes hasta adecuadas.
- Las características deficientes se relacionan principalmente con la condición blanda de las arcillas y con su alta plasticidad. También con la presencia de alguna raíces superficiales.



- Los materiales muestran un estado de densidad suelta o media cerca de la superficie, con fluctuaciones en su condición a medida que se profundiza en el terreno.
- La presencia del nivel de aguas freáticas (N.A.F.) a poca profundidad constituye una condición desfavorable, principalmente para el desarrollo de los procedimientos constructivos.
- Evaluando las características del sub-suelo y el proyecto, se considera necesario un sistema de cimentación profunda para la transmisión de las cargas de la estructura.
- Constructivamente se pueden presentar algunos inconvenientes en las excavaciones que se realicen para el proyecto, relacionados con la baja densidad del terreno en algunos puntos y la presencia del N.A.F.
- No se prevén otras complicaciones constructivas diferentes a los requerimientos comunes para obras de esta magnitud, siendo suficiente el uso de métodos convencionales.

#### PROYECTO Y DESCRIPCION DE CARGAS DE LAS OBRAS PROYECTADAS.

- Edificio de dos pisos la primera unidad estructural presenta cálculo para dos niveles
- La información del presente informe corresponde a las reacciones para el bloque inicialmente planteadas de 26.06 tf, en la columna más cargada (dato arrojado por la pre-simulación electrónica, incluyendo pesos de sub-estructuras como: vigas, losas, vigas de fundación, acabados, cargas vivas, viento, pesos propios y las respectivas contribuciones por sismo-Mononobe-Okabe y/o combinaciones de carga). Mononobe-Okabe estima que las condiciones hiperestáticas del suelo, lleven a incrementar dichos valores



hasta en un 20% de sus cargas (horizontalmente) y verticalmente hasta un 10% (según Mononobe-Okabe); La consideración anterior se sufraga con la utilización de las combinaciones de carga en la estructura (NSR-98 y NSR-10 lo anterior se sustenta, con las combinaciones de carga usadas en la cimentación, por el modelo electrónico, que corresponden a:

- $D+L+0.14Ex+0.042Ey$ ;
  - $D+L+0.042Ex+0.14Ey$
- Siendo:
- $Ex$  ,  $Ex$ : sismo de aceleración Pseudo-espectral en X y en Y, respectivamente.
  - Para un valor  $R= 5.00$  y un  $Ro = 4.50$  (recomendado y por chequearse).
  - La estructura proyectada, corresponde a un sistema aporticado en concreto armado, con losas aligeradas de concreto armado del tipo bidireccional.
  - Las reacciones de la estructura, deberán ser de nuevo chequeadas, debido a los cambios de la estructura con la nueva norma (NSR-10)
  - Las cargas de la estructura corresponden: estáticas: peso propio, acabados, particiones, muros de fachadas, cargas vivas (para losas estructurales) y estructura cubierta: peso propio estructura de madera y/o metálica caballetes, mantos, morteros de emboquillado y sujeción teja, cargas vivas de personas (para cubierta en techo). Cargas dinámicas: sismo, viento, Pseudo-estáticas, trepidación, por contribuciones de irregularidades geométricas de la estructura, etc. Las cargas a simular en el presente estudio serán analizadas posteriormente por el ingeniero calculista y remitidos a esta oficina. Los sondeos adyacentes y dentro del sitio proyectado de esta estructura, con respecto a la Capacidad de Soporte del suelo, corresponden a las perforaciones 1,2,3 y 4Dicha unidad estructural proyectada a desarrollar, se encuentra ubicado en un lote de mayor extensión. La unidad estructural ubicada hacia la parte posterior del lote, se encuentra conformada por un bloque de dos pisos , para efectos sísmicos, no serán partidas en sub-estructuras, y se espera que las fundaciones sean separadas de las vecindades totalmente (casas laterales, bloque de dos pisos y adicionalmente



las juntas sísmicas y estructurales que considere el ingeniero calculista) debiéndose evitar la intercepción de bulbos de presiones con esfuerzos críticos, productos de las combinaciones de carga y de los factores de reducción de las estructuras y del suelo, que finalmente sean asumidos por el respectivo factor de seguridad del edificio y del suelo; La utilización de cimentaciones semi-profundas con respecto a las cimentaciones de las estructuras vecinas; evita que los bulbos de presiones se intercepten y sean escalonados y diferenciales, y evitan la superposición de cizalladuras ó CIZALLADURAS diferenciales apreciables, evitando la posible falla General propuesta por Vesic y apoyada por Boussinesq, es de anotar que la implementación de un sistema continuo de fundaciones crea una distribución mayor del bulbo de presiones, siempre y cuando las cargas de la estructuras, sean técnicamente diseñadas y correspondan a una verdadera interacción del suelo-estructura, para el caso no se puede acceder a este tipo de solución ya que el estudio, se limita por las condiciones geotécnicas del sitio y por las cargas actualmente sobre los estratos del suelo. Un sistema continuo de fundaciones (incluyendo vecindades) con base en el cálculo de la interacción suelo-estructura, con personales técnicos e idóneos adecuados y unos suelos adecuados, lograría una distribución mayor de los esfuerzos al suelo, y una distribución de esfuerzos al suelo aparentemente uniformes. En fin se pretende separar las estructuras “en su todo” de las vecindades (llámese “en su todo” a cimientos, vigas de fundación, fachadas, losas, columnas, vigas de techo, techos, muros de contención, etc

- CARGA DE SERVICIO PARA LA COLUMNA MAS CARGADA = 40tf, con luces hasta de 5.40 m, y algunos de los pesos referenciados en el informe de suelos (valores aproximados).

Condición	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.5



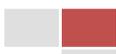
## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. ADECUACIÓN DEL TERRENO**

- Previo a la ejecución de los trabajos se deberá acondicionar el terreno, eliminando cualquier material inapropiado como suelos orgánicos (o capa vegetal), suelos muy plásticos, (como los encontrados), maleza o similares.
- De igual forma, los escombros producidos por las demoliciones de construcciones existentes, incluidos los cimientos, deben ser retirados en el área del proyecto.
- En general se recomienda un reemplazo o mejoramiento del material superficial, en un espesor no menor a 0.6 en todo el sitio de interés.
- Se deberán realizar trabajos de nivelación y/o rellenos tendientes a optimizar los drenajes en el área del proyecto y eliminar cualquier punto susceptible a estancamiento de aguas.
- Los rellenos, reemplazos o nivelaciones que se requieran en el proyecto, se realizarán con capas de material seleccionado de no más de 0.2 metros de espesor cada una y compactadas por lo menos al 95% del Proctor Modificado o su equivalente en densidad relativa.

### **4.2. TIPO DE CIMENTACIÓN**

Para la selección del tipo de cimiento se tuvieron en cuenta factores relativos a las superestructuras (cargas que transmite al suelo, materiales que la



constituyen, etc.), al subsuelo (propiedades mecánicas, condiciones hidráulicas, resistencia, compresibilidad, etc.) y factores económicos que deben balancear el costo de la cimentación en comparación con la importancia y el costo mismo de la obra.

Considerando lo anterior, se determinó que la transmisión de cargas de la construcción al subsuelo, se puede realizar a través de un sistema de pilotes o pilas pre excavadas unidos por un dado cabezal que garantice su interacción como grupo.

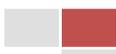
### **4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CIMENTACIÓN**

La capacidad de carga última de un pilote individual se calcula sumando la resistencia en el fuste (que es una función del perímetro del pilote, el esfuerzo vertical y el ángulo de fricción) más la resistencia por punta (función principalmente del área de la base y el esfuerzo vertical a la máxima profundidad del pilote) y restando el peso del pilote.

La separación mínima centro a centro de los pilotes en un grupo debe ser por lo menos 2.5 veces el diámetro de los pilotes. Para la carga admisible se trabajará con un factor de seguridad cercano a 3.

Los elementos de cimentación deben estar empotrados en el estrato de roca coralina en matriz arenosa, una profundidad no menor a 1.5 (después de sobrepasar la zona de transición entre la formación rocosa y la arcilla suprayacente) por lo que se recomiendan cimientos apoyados a profundidades entre 10 metros y 20 metros.

Se contemplarán elementos pre excavados de 0.6, 0.8 y 1.0 metro de diámetro (se recomienda incrementar la profundidad de los sondeos para confirmar que las propiedades del terreno se mantienen o mejoran).



A continuación se exponen diferentes opciones con sus correspondientes capacidades de carga admisibles.

Diámetro (m)	Capacidad de carga admisible (kN)
0.6	350 Aplica!
0.8	800
1.0	1600

Una vez definido el tipo de elementos a utilizar, se establecerán las características del dado cabezal.

#### **4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PILOTES PRE EXCAVADOS\***

##### **4.5. Ventajas:**

- No existe riesgo de levantamiento del terreno.
- Es fácil realizar variaciones en su longitud.
- Se puede comparar el perfil estratigráfico del sitio con los resultados de la investigación previa.
- Pueden utilizarse longitudes y diámetros muy grandes.
- Pueden instalarse sin ruido ni vibraciones de importancia y bajo condiciones de espacio limitado.

##### **Desventajas:**

- Los procedimientos de perforación pueden aflojar los suelos arenosos.
- Son susceptibles a sufrir adelgazamiento en la columna de concreto en terrenos inestables.
- La colocación del concreto bajo agua es una operación que requiere de mucho cuidado.
- No es posible la inspección del concreto después de su colocación.
- No se pueden formar bases ensanchadas en granulares sin cohesión.

\* Tomado del libro de Ingeniería de Fundaciones de Manuel Delgado Vargas.



#### **4.6. ASENTAMIENTOS DEL SISTEMA DE PILOTES**

Para el cálculo de los asentamientos críticos, se requiere conocer el sistema de pilotes escogido y el arreglo del grupo.

El cálculo de los asentamientos deberá ser verificado antes de tomar la decisión de implantar un determinado arreglo de pilotes. EFECTOS DE LOS ASENTAMIENTOS

Según la norma NSR-10, La clasificación de los asentamientos, los límites de asentamientos totales y los límites de asentamientos diferenciales, se dan por los siguientes numerales:

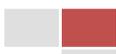
H.4.9.1 — CLASIFICACIÓN — Se deben calcular los distintos tipos de asentamientos que se especifican a continuación:

- (a) Asentamiento máximo — Definido como el asentamiento total de mayor valor entre todos los producidos en la cimentación.
- (b) Asentamiento diferencial — Definido como la diferencia entre los valores de asentamiento correspondientes a dos partes diferentes de la estructura.
- (c) Giro — Definida como la rotación de la edificación, sobre el plano horizontal, producida por asentamientos diferenciales de la misma.

H.4.9.2 — LÍMITES DE ASENTAMIENTOS TOTALES — Los asentamientos totales calculados a 20 años se deben

Limitar a los siguientes valores:

- (a) Para construcciones aisladas 30 cm, siempre y cuando no se afecten la funcionalidad de conducciones de servicios y accesos a la construcción.
- (b) Para construcciones entre medianeros 15 cm, siempre y cuando no se afecten las construcciones e instalaciones vecinas.



H.4.9.3 — LÍMITES DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES — Los asentamientos diferenciales calculados se deben limitar a los valores fijados en la tabla H.4.9-1, expresados en función de la DISTANCIA ENTRE APOYOS O COLUMNAS,  $\ell$ .

Tabla H.4.9-1

Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas,  $\ell$ .

Tipo de construcción	$\Delta_{\text{máx}}$
(a) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\ell / 1000$
(b) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería	$\ell / 500$
(c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\ell / 300$
(d) Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\ell / 160$

#### CALIFICACION DEL ASENTAMIENTO, S:

Algunos autores como Leonardo Zeewaert Wiechers, Tomlinson, Burland Burgidge, Terzaghi, Peck, Hanson & Thorburn, Reese y O'Neill, Meyerhof, etc; han planteado formulaciones teóricas y experimentales, que generalmente asumen condiciones de suelos diferentes a las existentes; sin ser desvirtuadas estas de la practica ingenieril. Teniendo en cuenta lo anterior se puede considerar el calificar la magnitud del asentamiento considerado para este tipo de fundaciones (La norma NSR-10, permite un asentamiento máximo diferencial de 2.54 cm en zapatas y de 1.27 cm en pilas), mediante el uso de la Tabla 3. Propuesta:

Tabla 3. Propuesta de la susceptibilidad a la calificación del asentamiento, considerando la NSR-10.

ASENTAMIENTO, S (cm)	CALIFICACION
Menor que 1.00 cm Entre 1.00 cm a 1.50 cm	Muy seguro, Cumple ; Seguro, Cumple ;



Entre 1.50 cm a 2.00 cm Entre 2.00 cm a 2.54 cm	Moderadamente seguro, Cumple ; Poco seguro, Cumple ;
--	---

Los parámetros de Capacidad de soporte, el Factor de Seguridad y el Asentamiento, adicionalmente deben ser generalmente evaluados de manera paralela con parámetros de Meteorización, Licuación, estabilidad interna y externa de la cimentación.

Para efectos de calcular el respectivo factor de seguridad de la cimentación; La Capacidad de soporte última es requerida en su cálculo.

#### **4.7. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y DE CONTROL**

En lo siguiente, se emitirán una serie de consideraciones de tipo general, las cuales complementan y contribuyen al adecuado comportamiento de la cimentación propuesta y de la estructura en general.

- El éxito de una cimentación con pilotes depende en gran medida del procedimiento constructivo por lo cual un estricto control de calidad resulta fundamental.
- El trabajo debe ser realizado por personal calificado y empleando el equipo necesario, acorde con las exigencias del sitio (manejo del nivel freático, por ejemplo) y la magnitud de los cimientos.
- Para los pilotes pre excavados se seguirá el siguiente procedimiento constructivo: 1) Ejecución de la excavación de sección circular que sea estable, ya sea con camisas metálicas o lodos bentoníticos, hasta la profundidad indicada. 2) Fabricación y colocación de la canasta de refuerzo, de acuerdo con las especificaciones estructurales y dentro de la excavación, cuidando que quede centrada para garantizar el recubrimiento especificado.



3) Colocar el concreto dentro de la excavación asegurando su continuidad sin que se presente segregación.

- En los pilotes pre excavados, para el proceso de hormigonado bajo lodos bentoníticos se utiliza tubería tremie o trompa de elefante, en donde se acopla un embudo o tolva en la parte superior por donde se descarga el concreto. En todo momento el fondo del tremie debe quedar embebido dentro del concreto por lo menos 3 metros. Los diámetros usuales de esa tubería son de 6" a 10".
- El concreto a utilizar en el procedimiento anterior debe cumplir las siguientes especificaciones mínimas: diámetro máximo del agregado igual a 1/8 del diámetro interno del tubo tremie; retardador de fraguado para un máximo de 3 horas; ensayo de Slump entre 7" y 8".

#### **4.7.1. Inspección y control de calidad**

Los principales aspectos a tener en cuenta en el control del pilotaje son:

- Información general (fecha, duración, equipos utilizados, etc.)
- Localización del pilote.
- Conformidad del proceso de instalación con las especificaciones.
- Dimensiones y verticalidad de los elementos.
- Registro del subsuelo atravesado.
- Verificación del estrato de apoyo y profundidad final.
- Verificación del proceso de hormigonado en el caso de los preexcavados (calidad del concreto, slump, calidad y separación del acero de refuerzo, no segregación, comparación del volumen teórico con el descargado, descabece por concreto contaminado, entre otros).



#### **4.7.2. tolerancias**

- Desviación no mayor del 10% del diámetro del pilote en cualquier dirección.
- Verticalidad: aceptable una excentricidad entre 1% y 2.5% de la longitud del pilote.

#### **4.8. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS GENERALES**

##### **4.8.1. Excavaciones generales**

- Se debe desarrollar un plan de trabajo de manera que el tiempo transcurrido entre las operaciones de excavación y las de vaciado y sellado de los cimientos, sea el menor posible con el fin de reducir al máximo la exposición del suelo de fundación a fenómenos ambientales que puedan alterar su comportamiento.
- Cualquier material indeseable que se detecte en las excavaciones (como rellenos contaminados o suelo muy suelto) deberá ser reemplazado por material seleccionado o suelo cemento debidamente compactado, concreto pobre o ciclópeo.
- Se contará con un adecuado sistema de bombeo para abatir el N.A.F. y evacuar las aguas lluvias o de cualquier otra naturaleza. Esto para proporcionar una adecuada plataforma de trabajo.
- En las excavaciones se puede requerir un sistema de entibado, el cual podrá estar conformado por puntales verticales y largueros horizontales de madera para mantener las paredes del terreno.



- El tendido de los taludes es otra medida para contribuir con la estabilidad de los cortes.

#### **4.8.2. Rellenos**

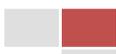
- El material seleccionado de los rellenos deberá cumplir en lo posible con las siguientes especificaciones: Límite líquido < 25%, Índice de plasticidad < 6%, porcentaje material que pasa el tamiz de 76.2 mm: 100%, porcentaje material que pasa el tamiz de 4.75 mm: entre 30% y 70%, porcentaje material que pasa el tamiz de 0.074 mm: entre 0 y 15%.

#### **4.8.3. Manejo de aguas**

- Las redes de servicio que se proyecten se construirán en PVC y su conexión con las primarias será realizada de acuerdo a la normatividad existente. Se recomienda especial cuidado en la colocación de las tuberías por donde circule agua (negras y blancas), principalmente en lo referente a juntas, a fin de prevenir filtraciones.
- En la construcción proyectada y sus alrededores, se deben construir eficientes sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias o de cualquier naturaleza.
- La zona debe ser acondicionada con pendientes apropiadas y la edificación debe constar con andenes generosos que reduzcan el potencial de infiltración de aguas.

#### **4.8.4. Otras consideraciones**

- De ser posible, se deben adelantar los procedimientos constructivos en época de verano, puesto que la llegada de las lluvias complicaría los trabajos.



- Se recomienda contar con la asesoría de nuestra firma durante la construcción de los cimientos de manera que se resuelvan de forma rápida y segura las inquietudes referentes a la implementación de las recomendaciones incluidas en el cuerpo de este informe.

#### **4.9. ASPECTOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO**

A continuación se presenta un resumen de los factores principales relacionados con la ejecución del estudio y las conclusiones obtenidas:

- Exploración de campo: 6 perforaciones de 0.0 a 7 metros de profundidad.
- Materiales encontrados: Maleza, arenas limosas, arcillas, material orgánico y arenas arcillosas con roca coralina.
- Nivel Freático: entre 0.3 metros y 0.5 metros.
- Tipo de cimentación: pilas pre excavadas.
- Ancho de la Zapata 2.00 x 2.00 mts
- Pilotes por Zapatas: 6und de 6" Long 10 a 20mts punta de lapiz
- Profundidad de cimentación y capacidad de carga admisible: ver numeral 4.3.
- Proceso constructivo: métodos convencionales.
- Recomendaciones especiales: verificación del estrato de apoyo, controles estrictos y personal calificado.



4.9 CLASIFICACION DEL SUBSUELO PARA EL ESTUDIO DE SUELOS. De la Tablas siguientes formuladas en la NSR-10, se obtiene la clasificación del tipo de construcción a realizar.

Tabla H.3.1-1

Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
<b>Baja</b>	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
<b>Media</b>	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
<b>Alta</b>	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
<b>Especial</b>	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

**Categoría de la unidad de construcción**

<b>Categoría Baja</b>	<b>Categoría Media</b>	<b>Categoría Alta</b>	<b>Categoría Especial</b>
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 10 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

**CATEGORIA DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCION:** MEDIA

**PROFUNDIDAD MINIMA DE SONDEOS:** 6.00 m

**NUMERO MINIMO DE SONDEOS:** **3 UNIDADES**

Amenaza se asocia a la probabilidad de ocurrencia de la licuación.

CLASIFICACIÓN	NIVEL DE AMENAZA	$P_L$	INTERPRETACIÓN
1	Muy Baja	$P_L < 0.15$	Casi seguro que no ocurrirá licuación
2	Baja	$0.15 \leq P_L < 0.35$	Poco dado a ocurrir licuación
3	Media	$0.35 \leq P_L < 0.65$	Licuación y no licuación son igualmente probables
4	Alta	$0.65 \leq P_L < 0.85$	Muy dado a ocurrir licuación
5	Muy Alta	$P_L \geq 0.85$	Casi seguro que ocurrirá licuación

Tabla 6. Interpretación de los resultados de ocurrencia de licuación (Juang 2002, tomada de Pinto and Puentes, 2005).

Los grados de esfuerzos cíclicos, que causan licuación son función de la resistencia a la Penetración normalizada (N1)60 y del porcentaje de finos (Seed 1985), Gráfico 1.

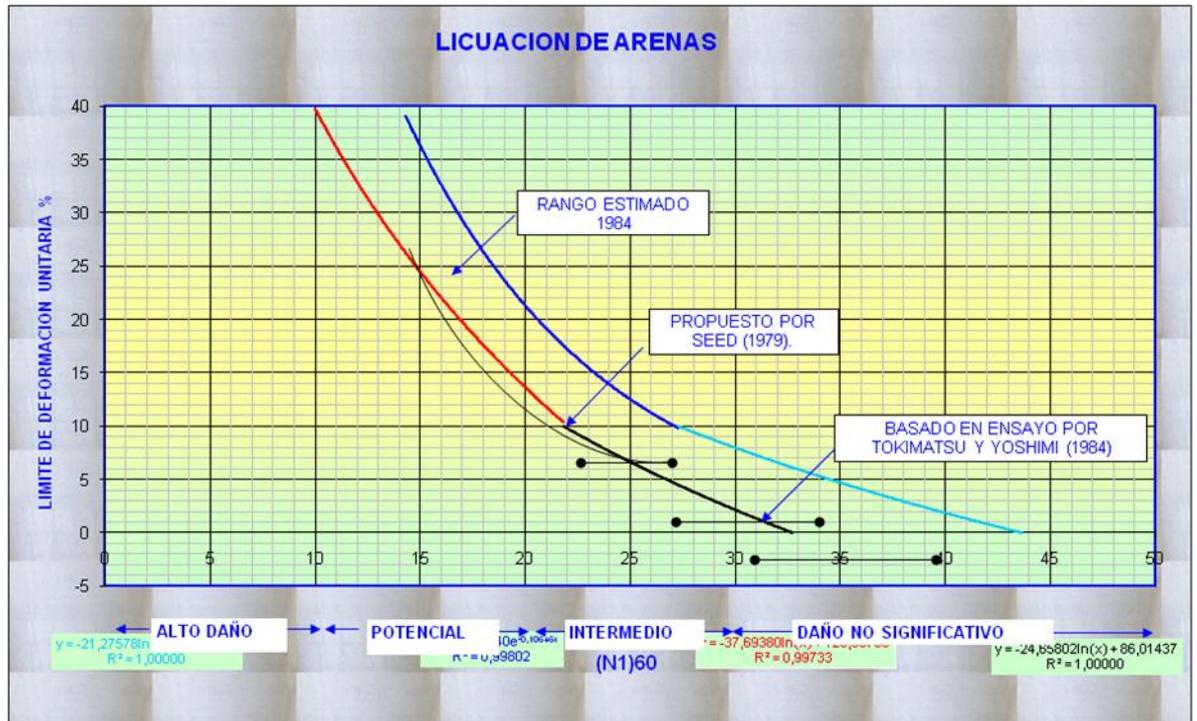


Gráfico 1. (N1)60 vs % de finos, Seed, 1.985.

Considérese que: RIESGO = AMENAZA \* VULNERABILIDAD

Riesgo (R): posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

Amenaza (A): evento o fenómeno perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

Vulnerabilidad (V): factor asociado a la exposición y fragilidad, de vidas y bienes, a los efectos de la amenaza.

Tabla 6. Coeficiente de importancia y períodos medios de retorno.

Ubicación de	Ao	Coeficiente	A'o = α	Probabilidad de que A'o	Periodo
--------------	----	-------------	---------	-------------------------	---------

la localidad	(2)	de Importancia $\alpha$	Ao	sea excedido (2) en un tiempo de:			Medio de Retorno (3) (años)
				1 año	50 años	100 años	
Zona de peligro sísmico alta(1)		1,0	0,30g	0,0021	0,100	0,190	473
	0,30g	1,2	0,36g	0,0012	0,059	0,115	818
		1,5	0,45g	0,0006	0,031	0,061	1597
Zona de peligro sísmico moderado (1)		1,0	0,15g	0,0021	0,101	0,192	496
	0,15g	1,2	0,18g	0,0010	0,050	0,098	973
		1,5	0,225g	0,0004	0,021	0,041	2374

La deducción del periodo de Retorno,  $T_r$ , depende de la siguiente ecuación:

$$q = 1 - e^{-LN}$$

Donde:

q = Probabilidad de excedencia

L = Vida útil de la estructura

N = Inverso del período de retorno ( $1/T_r$ )

Ejemplo: para una edificación de vida útil 50 años.

L = 50 años

N =  $1/475$

q = 10%



Ejemplo: para una edificación de vida útil 80 años.

$L = 80$  años

$N = 1/475$

$q = 15.50\%$

La NSR-98 capítulo A.2.9.3. En su literal c), registra: “los estudios de microzonificación debe cubrir como mínimo una evaluación de la máxima aceleración horizontal efectiva para una probabilidad de excedencia de 10% en un lapso de 50 años, con un cubrimiento por incertidumbre en la determinación de la máxima aceleración horizontal efectiva, no menor del 90%”. Cuya dicha recomendación queda sufragada al cimentarse las estructuras en estratos de soporte superiores a los 6.00 m.

#### **METEORIZACION:**

Se puede resumir como aquel conjunto de procesos de tipo físico y químico que actúan sobre los materiales de la corteza terrestre, en especial sobre las rocas:

Los físicos desintegrándolas.

Los químicos mutando los minerales, buscando compuestos de mayor estabilidad.

La intensidad de meteorización hace referencia a la estabilidad de los minerales que se producen durante la alteración, ésta implica dos grupos de técnicas:

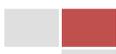
Valoración semi-cuantitativa: efectuada a partir de pruebas mineralógicas y estimadas a partir de índices que tienen en cuenta el estado de la roca original.

Dentro de los métodos utilizados para la medida de la intensidad de la meteorización semi-cuantitativa, se puede recurrir a la cuantificación de la magnitud de algunas pruebas índice, como son:

Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Difracción en rayos X (XRD).

Análisis químico de elementos mayores.



Conteos modales de minerales en placas con acrílico.

Análisis termo diferencial (DTA).

Microscopia óptica, láminas delgadas.

Capacidad de intercambio catiónico (CEC).

pH.

Valoración cualitativa: son pruebas sencillas de campo que permiten diferenciar los horizontes de meteorización. Dentro de los métodos utilizados para la medida cualitativa de la intensidad de meteorización, se puede recurrir a los Esquemas zonales.

Esquema Zonal: divide el perfil de meteorización en zonas de acuerdo a algunas características como:

Nivel de meteorización, suelo residual – roca.

Relación entre matriz y fragmentos de roca frescos.

Predicción del comportamiento, con el tiempo de estabilidad y soporte.

## **5. LIMITACIONES**

Las recomendaciones incluidas en este informe se basan en la investigación por nosotros ejecutada, acorde con la práctica común de la ingeniería de suelos y con la cobertura suficiente para definir las condiciones del subsuelo en el área del proyecto. No obstante, si se presentan condiciones no contempladas en este informe, como variación en el proyecto o diferencias en el subsuelo, se nos deberá comunicar oportunamente para establecer los ajustes necesarios a las recomendaciones formuladas.

Ingeniero Civil  
Manuel Calvo M.  
C.C 72.233.750

Ingeniero Civil  
Fernando Anaya Carrasquilla  
C.C.



## ANEXOS



**Bibliografías.**

- 1) GABRIEL MARQUEZ CARDENAS, "Propiedades Ingenieriles de los Suelos y Propiedades Mecánica de Suelos", Centro de Publicaciones U.N., 1983, Pág 243 y 288.
- 2) JUAREZ BADILLO Y RICO. "Mecánica de Suelos". 3 Tomos, Editorial Limusa, México. 2003.
- 3) LEONARDO ZEEWAERT W. "Interacción Suelo-Estructura de Cimentaciones Superficiales y Profundas Sujetas a Cargas Estáticas y Sísmicas". 25 de julio de 1980. Pág. 256
- 4) DANIEL GRAUX. "Fundamentos de Mecánica del suelo, proyectos de Muro y Cimentación". Tomo I. , Editores Técnicos asociados. 1970, Pág 414.
- 5) ANTONIO ARANGO VELEZ. "Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos", Tercera Edición 1987, Medellín-Colombia, Pág 276.
- 6) BRAJA M. DAS. "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", California State University, Sacramento. Editorial Thomson Editores S.A. , 2001. Pág. 594.
- 7) ROBERTO ROCHELL AWAD. "Hormigón Reforzado" II parte. Pág. 235.
- 8) THOMAS .H. HANNA. "Foundations in Tensión", First Edition, 1982, Pág 572.
- 9) NORMAS COLOMBIANA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMO-RESISTENTE. NSR-98. "Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998", Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2 Tomos.
- 10) ENSAYOS DE CAMPO PARA LA CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL SUBSUELO, por Oscar Correa Calle, Pág. 141 a 166.
- 11) JAIME ALBERTO RUIZ ALVAREZ. "Software I.N.T.E.R.S.I.O.N.", 2004, 100 programas relacionados con aplicaciones Visual, Macros y Excel Profesional, Flash. Derechos propios de autor.
- 12) Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) y la Empresa de Estudios y Proyectos Tecnicos Industriales, S.A. (EPTISA), Manual de Ingeniería de Taludes, España, Pág. 1-456, 1987.
- 13) Douglas G. Montgomery y George C. Runger, Probabilidad y Estadística aplicadas a Ingeniería.
- 14) Meter G. Fookes, Traducción Fabián Hoyos, Suelos Residuales Tropicales, Medellín, 2004. Pág. 235.
- 15) H.G. POULOS, E.H. DAVIS. « PILE FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN », University of Sydney, 1980, Pág. 397.
- 16) Fabian Hoyos, traducción de Peter G. Fookes. "SUELOS RESIDUALES TROPICALES", Medellín, 2004, Pág. 235.
- 17) Braja M. Das. Ingeniería de Cimentaciones. Quinta edición. México. 2006. Pág 743.
- 18) Joseph E. Bowles. Foundation Analysis and design. Fourth Edition. 1988. Pág 1003.
- 19) Suarez, J. "Deslizamiento y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales" Julio de 1998. Pág. 539.
- 20) J.A. Jiménez Salas. Geotecnia y Cimientos II, 2da Edición, Mecánica del Suelo y de las Rocas. Editorial Rueda. 1981. Pág. 1118
- 21) Denys Brunsten, David B. Prior. Slope Inestability. 1987. John Wiley Son. Pág. 618.



- 22) Instituto Nacional de Vías. Manual de Estabilidad de taludes. Santafé de Bogotá, D.C. 1998. Pág. 340.
- 23) Instituto Tecnológico Geominero de España. Manual de Ingeniería de Taludes. 1991. Madrid España. Pág. 456.
- 24) BJERRUM, L., y SIMONS, N. E., 1960, Comparison of Shear Strength characteristics of normally consolidated clays. Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils. A.S.C.E. Boalder 711-726.
- 25) COLLOTTA, T.; RUBERL, E.; PAVESI, U.; CANTONI, R.; MORETTI, P. C. Correlation between residual friction angle, gradation and the index properties of cohesive soils. Geotechnique. Vol. 39, pp. 343-6. June 1989.
- 26) DOUGLAS G. MONTGOMERY Y GEORGE C. RUNGER, 2004, 2da Edición, Probabilidad y Estadística aplicadas a Ingeniería, México, pp. 817.
- 27) H BOROWICKA - Proceedings Sixth International Conference Soil Mechanics, ..., 1965 - stinet.dtic.mil. The influence of the colloidal content on the shear strength of clay.
- 28) INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE) Y LA EMPRESA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS TÉCNICOS INDUSTRIALES, S.A. (EPTISA), Manual de Ingeniería de Taludes, España, p. 1-456, 1987.
- 29) JIMENEZ SALAS J. A., y JUSTO ALPAÑES, J. L., 1975, Geotecnia y Cimientos I, Propiedades de los suelos y de las rocas, 2da edición, Ed. Rueda, Madrid, 422 p.
- 30) KANJI, M. A., 1970, Shear Strength of Soil Rock Interfaces. M. S. Thesis Dept. of Geology, Univ. of Illinois, Urbana.
- 31) KOERNER, R. M., 1970, Effect of particle characteristics on Soil strength. A.S.C.E., Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, vol. 96, n.º SM4.
- 32) KULHAWY S.A., 1992, On the evaluation of static soil properties ASCE Geotechnical Special Publication No. 31, pp 95-115.
- 33) LUPINI, J. F., SKINNER, A.E., VAUGHAN P.R., 1981. The drained residual strength of cohesive soils. Geotechnique 31, n.º 2.
- 34) MUNICIPIO DE MEDELLÍN, SECRETARIA PRIVADA, SISTEMA MUNICIPAL DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES, UNIVERSIDAD EAFIT, INTEGRAL, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD NACIONAL, FACULTAD DE MINAS, 1999, Instrumentación Y Microzonificación Sísmica Del Area Urbana De Medellín.
- 35) NAVFAC, 1971, Design Manual DM-7, Soil Mechanics Foundations and Earth Structures. Naval Facilities Engineering Command. Washington D.C.
- 36) PATTON, F.D., y HENDRON, A.J., 1974, General report on mass movements. Proc. 2da Intl. Congr., Intl. Assoc. Engrg. Geol. Sao Paulo.
- 37) PHOON AND KULHAWY, 1999, Discussion of Bearing Capacity Prediction of Spatially Random C-Ø Soils, Published on the NRC Research Press, Geotechnical Journal 40: 54-65.
- 38) RODRÍGUEZ, E., R., W., 2003, Las Arcillas Activas en argentina diagnostico y remediación, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Buenos Aires, p. 1-58.
- 39) SKEMPTON, A. W., 1957, The colloidal activity of clays. Proc. 3er. Int. Cong. Of Soil Mechs. And Found. Engrg., vol. I, pp. 57-61, Suiza.
- 40) SOWERS, G. B., y SOWERS, B.F., 1951, Introductory Soil Mechanics and Foundations. MacMillan, New York.
- 41) TERZAGHI, K., y PECK, R., 1948, Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons.
1. 42) SHARMA, B. Y BORA, P. K., 2005, Discussion of Plastic Limit, Liquid Limit, and Undrained Shear Strength of Soil—Reappraisal, J. Geotech. and Geoenviron. Engrg., Volume 131, Issue 3, p. 402.
2. 43) SRIDHARAN, A. Y PRAKASH, K., 2005, Mechanisms controlling the undrained shear strength behaviour of clays, Can. Geotech. J. 42(4): 1221–1231.
- 44) SRIDHARAN, A. Y RAGHUVVEER RAO, P., 2003, Residual strength of clays and correlations using Atterberg limits., Geotechnique 53, 669-672.



45) VASQUEZ L. R., 1999, correlación del C.B.R. con las propiedades físicas de las arcillas de alta plasticidad. Análisis estadístico., En: Boletín de Vías, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Vol XXVI No. 92, pág. 39-44.

